



УДК 627.8: 626

## ВОДОВОДЫ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

**Костин Арсений Сергеевич**, студент  
ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»  
127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9

**Конопельчев Иван Константинович**, студент  
ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»  
127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9

**Гуляев Вячеслав Александрович**, студент  
ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»  
127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9

*Аннотация.* Рассматривается ледовый режим водоводов ГЭС в зимний период. Наиболее трудным является пусковой период водовода, имеющего стенки, охлажденные до отрицательных температур. Втекающая в него вода образует корку льда на внутренней поверхности трубы. Числовой расчет позволяет определить станет ли лед таять после ослабления потока тепла, уходящего от трубы в окружающий грунт, или произойдет полное замерзание рассматриваемого сечения водовода.

*Ключевые слова:* замерзание воды, отток тепла в грунт, живое сечение водовода, задача Стефана.

Работа гидроэлектростанций, расположенных в высоких Северных широтах встречается с трудностью работы в зимний период, когда возможно замерзание воды при течении в трубопроводах. В особенности это касается трубопроводов деривационных ГЭС. Наиболее трудным режимом является пусковой режим незаполненного трубопровода, стенки которого охлаждены до отрицательной температуры. При затекании в него первой порции жидкости от нее происходит интенсивный отток тепла к твердым холодным стенкам и образование на поверхности стенок корки льда.

Дальнейшее развитие ледового режима может пойти двумя путями.

В первом, благоприятном случае, холодный грунт, окружающий трубопровод, начнет согреваться. Его низкая отрицательная температура повысится до температур, близких к нулю. Отток тепла от жидкости в твердую стенку и ледяную корку снизится. При дальнейшем поступлении тепла от воды к ледяной корке она может начать таять и со временем растаять совсем. Это благоприятный исход. Трубопровод запустится и будет в зимний период работать в безледном режиме.

Во втором, неблагоприятном случае, тепла от втекающей в трубопровод теплой воды может не хватить для таяния корки льда на внутренних стенках трубы. Толщина корки льда со временем будет увеличиваться, а живое сечение для пропуски воды будет сокращаться.

При узком сечении возрастут потери давления на трение, и насосы, подающие воду, могут не справиться с перекачкой воды. Они снизят объемный расход подаваемой воды, и трубопровод полностью замерзнет.

С академической точки зрения возникает задача Стефана прогрева тела с подвижной границей. В 1980-ые годы были выполнены исследования этой задачи численным методом решения уравнений распространения тепла [1]. Расчеты возникновения корки льда в безразмерной форме были проведены для большого числа безразмерных параметров, входящих в формулировку задачи. Обобщение численных решений позволило представить общее решение задачи в виде четырех графиков, зависящих от трех безразмерных параметров.

По этой инженерной методике расчета ледового режима трубопровода была сочтена зависимость максимальной толщины корки льда и времени полного таяния льда в трубопроводе от температуры холодного грунта, окружающего трубопровод при пуске в него теплой воды.

Постановка задачи была такой. В толще грунта или тела плотины ГЭС расположен прямолинейный трубопровод, который в начальный момент не заполнен водой. Грунт имеет холодную температуру  $T_{гр}$ . В трубопровод в начальный момент времени втекает вода, имеющая температуру  $+2^{\circ}\text{C}$ . На внутренней стенке трубы образуется лед, максимальное значение толщины которого достигает величины  $\delta_{max}$ . Через некоторое время толщина слоя льда начинает уменьшаться, и через время  $t_{end}$  трубопровод полностью освобождается ото льда. Для одного из вариантов конструкции водовода результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1.

**Величина максимальной толщины корки льда  $\delta_{max}$ , мм и времени освобождения водовода ото льда  $t_{end}$ , час в зависимости от температуры материала стенок водовода  $T_{гр}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ .**

$T_{гр}, ^{\circ}\text{C}$	$\delta_{max}, \text{мм}$		$t_{end}, \text{час}$
-3	0.4		11
-4	1.6		42
-5	4.6		117
-6	10.6		269
-7	21.9		546
-8	40.8		1005

С понижением температуры материала, окружающего водовод, резко возрастает время полного таяния льда.

Зависимости решений от других параметров задачи рассмотрены в статьях [2], [3].

#### Список литературы:

1. Транспортирование водоугольных суспензий / Кондратьев А. С., Овсянников В. М., Олофинский Е. П. и др. – М: Недра, 1988. – 213 с.

2. Грушников И. С., Гуляев В. А. Девяткин Е. С. и др. Зависимость допустимой длины транспортирования замерзающей жидкости по коммуникационному трубопроводу гидротехнического сооружения от ее начальной температуры // Безопасность и надежность гидротехнических сооружений. Современные исследования и технические решения: Материалы научно-практической конференции (28 февраля 2023)/ Под ред. В. К. Новикова, В. М. Овсянникова, М.А. Сахненко. – М.: Издательство «Спутник+». – 2023. – С. 48 – 51.

3. Конопельчев И. К., Костин А. С., Овсянников В. М. и др. Алгебраические формулы для толщины корки льда после втекания замерзающей жидкости в коммуникационный трубопровод гидротехнического сооружения, проложенный в мерзлом грунте // Безопасность и надежность гидротехнических сооружений. Современные исследования и технические решения: Материалы научно-практической конференции (28 февраля 2023)/ Под ред. В. К. Новикова, В. М. Овсянникова, М.А. Сахненко. – М.: Издательство «Спутник+». – 2023. – С. 64 – 67.

## **AQUATIC PIPES OF HYDROELECTRIC POWER STATIONS OF THE ARCTIC ZONE**

Arseniy S. Kostin, Ivan K. Konopelchev, Vyacheslav A. Gulyaev

*Abstract:* The ice regime of hydroelectric power station water pipelines in winter is considered. The initial period of operation of the water pipeline is difficult if the walls of the pipe have a negative temperature. Water freezes on the inside surface of the pipe. A crust of ice forms on the inner surface of the pipe. The calculation determines the ice melting regime over time. Ice melts due to a decrease in the flow of heat that goes into the ground. The water main may freeze completely.

*Key words:* freezing of water, heat outflow into the ground, live cross-section of a water pipeline, Stefan's problem.